

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-519367

(P2017-519367A)

(43) 公表日 平成29年7月13日(2017.7.13)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)	
<b>H O 1 S</b>	<b>5/14</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H O 1 S</b>	<b>5/14</b>	<b>2 H 2 4 9</b>
<b>H O 1 S</b>	<b>3/10</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H O 1 S</b>	<b>3/10</b>	<b>Z</b> <b>5 F 1 7 2</b>
<b>G O 2 B</b>	<b>5/18</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>G O 2 B</b>	<b>5/18</b>	<b>5 F 1 7 3</b>

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 34 頁)

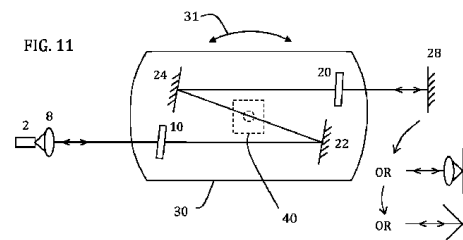
(21) 出願番号	特願2016-571201 (P2016-571201)	(71) 出願人	391002306
(86) (22) 出願日	平成27年6月1日 (2015.6.1)		レニショウ パブリック リミテッド カ ンパニー
(85) 翻訳文提出日	平成29年2月6日 (2017.2.6)		RENISHAW PUBLIC LIM ITED COMPANY
(86) 国際出願番号	PCT/GB2015/051581		イギリス ジーエル12 8ジェイアール グロスタシャー ワットン-アンダー-
(87) 国際公開番号	W02015/185900		エッジ ニュー ミルズ (番地なし)
(87) 国際公開日	平成27年12月10日 (2015.12.10)	(74) 代理人	110001243
(31) 優先権主張番号	1410003.6		特許業務法人 谷・阿部特許事務所
(32) 優先日	平成26年6月5日 (2014.6.5)		
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザデバイス

## (57) 【要約】

周波数同調可能なレーザデバイスは、キャビティモードセクタ(10)と、キャビティ同調構成(22、24)とを備える。キャビティモードセクタ(10)は、レーザデバイスの選択されたキャビティモードと周波数を揃えることが可能な選択特徴を備えた周波数応答を有する。キャビティ同調構成(22、24)は、光学的に直列に配置された複数の反射要素を含んでおり、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるために用いられる。レーザデバイスは、キャビティモードセクタ(10)およびキャビティ同調構成(22、24)に同時協調動作を実行させるための手段(30、40)をさらに備え、それにより、選択特徴および選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数は、同時協調動作を特徴付けるパラメータに実質的に同じ依存性を有して変化する。例えば、共回転エタロン(10)を備えた潜望鏡(22、24)は、特に、潜望鏡(22、24)が主に余弦同調応答を与えるように構成される場合に、レーザデバイスのモードホップなしの同調を提供するために用いられ得る。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

周波数同調可能なレーザデバイスであって、前記レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを定義するレーザキャビティを備え、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有し、前記レーザキャビティは、

前記複数のキャビティモードのうちの 1 つのキャビティモードと周波数を揃えることが可能な選択特徴を備えた周波数応答を有して、選択されたキャビティモードと称される、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促すキャビティモードセクタであって、前記選択特徴の周波数は、前記キャビティモードセクタの所定の動作によって選択的に調整可能であるキャビティモードセクタと、

10

前記レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、前記キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成であって、前記選択されたキャビティモードの周波数は、前記キャビティ同調構成の所定の動作によって選択的に調整可能であり、前記キャビティ同調構成は、光学的に直列に配置された複数の反射要素を備えるキャビティ同調構成と

を含み、

前記レーザデバイスは、

前記キャビティモードセクタおよび前記キャビティ同調構成に同時協調動作を実行させるように構成されたアクチュエータであって、前記選択特徴および前記選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数は、前記同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有する結果として、少なくとも前記パラメータの所定の範囲にわたって変化するアクチュエータ

20

をさらに備えることを特徴とする周波数同調可能なレーザデバイス。

## 【請求項 2】

前記キャビティモードセクタの前記周波数応答は、複数の前記選択特徴を有し、複数の前記選択特徴の各々は、1 つのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように潜在的に促すことができ、前記選択特徴のうちの 1 つのみが、前記選択されたキャビティモードと周波数を揃えられ、前記レーザデバイスは、( a ) 前記選択されたキャビティモードと揃えられた前記キャビティモードセクタの前記選択特徴と周波数を揃えることが可能なフィルタ機能を有し、かつ、( b ) 前記キャビティモードセクタの前記周波数応答と組み合わせさせて、前記選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を生み出す周波数応答を有するフィルタ要素をさらに備え、前記アクチュエータは、前記フィルタ要素、前記キャビティモードセクタおよび前記キャビティ同調構成に同時協調動作を実行させるように構成され、前記揃えられた選択特徴、前記フィルタ機能および前記選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数は、前記同時協調動作を特徴付ける前記パラメータに対して実質的に同じ依存性を有して、少なくとも前記パラメータの前記所定の範囲にわたって変化することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザデバイス。

30

## 【請求項 3】

周波数同調可能なレーザデバイスであって、前記レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを定義するレーザキャビティを備え、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有し、前記レーザキャビティは、

40

前記複数のキャビティモードのうちの 1 つのキャビティモードと周波数を揃えることが可能な選択特徴を備えた周波数応答を有して、選択されたキャビティモードと称される、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促すキャビティモードセクタであって、前記選択特徴の周波数は、前記キャビティモードセクタの所定の動作によって選択的に調整可能であるキャビティモードセクタ

を含み、

前記キャビティモードセクタの前記周波数応答は、複数の前記選択特徴を有し、複数の前記選択特徴の各々は、1 つのキャビティモードが他のキャビティモードより優先して

50

レーザ発振するように潜在的に促すことができ、前記選択特徴のうちの１つのみが、前記選択されたキャビティモードと周波数を揃えられ、前記レーザデバイスは、（a）前記選択されたキャビティモードと揃えられた前記キャビティモードセレクトアの前記選択特徴と周波数を揃えることが可能なフィルタ機能を有し、かつ、（b）前記キャビティモードセレクトアの前記周波数応答と組み合わせさせて、前記選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を生み出す周波数応答を有するフィルタ要素をさらに備え、

前記レーザデバイスは、

前記キャビティモードセレクトアおよび前記フィルタ要素に同時協調動作を実行させるように構成されたアクチュエータであって、前記揃えられた選択特徴および前記フィルタ機能のそれぞれの周波数は、前記同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有する結果として、少なくとも前記パラメータの所定の範囲にわたって変化するアクチュエータを特徴とする周波数同調可能なレーザデバイス。

10

【請求項４】

前記フィルタ要素は、直列に配置された複数のエタロンから形成され、前記複数のエタロンのうちの各エタロンは、異なるエタロンモード間隔を有することを特徴とする請求項２または３に記載のレーザデバイス。

【請求項５】

前記同時協調動作を実行する部品は、前記部品を互いに対して一定の關係に維持する結合によって互いに機械的に結合され、前記アクチュエータは、前記結合された部品をグループとして一緒に移動させるように構成されることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

20

【請求項６】

前記同時協調動作は、前記同時協調動作を実行する部品の各々の相対的な回転動作であり、前記同時協調動作を特徴付ける前記パラメータは、前記相対的な回転動作に関連付けられた回転角度であることを特徴とする請求項１乃至５のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

【請求項７】

前記同時協調動作は、前記同時協調動作を同じ量だけ実行する前記部品の各々の相対的な回転動作であることを特徴とする請求項６に記載のレーザデバイス。

30

【請求項８】

前記依存性は、前記回転角度に対する逆余弦依存性であることを特徴とする請求項６または７に記載のレーザデバイス。

【請求項９】

前記キャビティモードセレクトアは回折格子を含むことを特徴とする請求項１乃至８のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

【請求項１０】

前記キャビティモードセレクトアは、複数のエタロンモードを定義する、対向する部分的な反射面を有するエタロンを含み、前記選択特徴または各選択特徴は、それぞれのエタロンモードであり、またはそれぞれのエタロンモードに関連することを特徴とする請求項１乃至８のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

40

【請求項１１】

前記キャビティモードセレクトアおよび前記フィルタ要素は、エタロンを共有することを特徴とする請求項４に従属する場合の請求項１０に記載のレーザデバイス。

【請求項１２】

前記キャビティ同調構成の反射要素間の空間内に提供される媒体は、前記キャビティモードセレクトアのエタロンの反射面間の空間内に提供される媒体と実質的に同じ屈折率を有することを特徴とする請求項１０または１１に記載のレーザデバイス。

【請求項１３】

反射要素の第１の構成と反射要素の第２の構成とを備え、前記第１の構成の前記反射要

50

素および前記第 2 の構成の前記反射要素は、前記レーザデバイスの前記レーザキャビティを定義し、前記第 2 の構成の前記反射要素は、前記キャビティ同調構成の前記反射要素であることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

【請求項 14】

前記第 1 の構成の前記反射要素は、前記第 1 の構成の前記反射要素の同じ反射要素へ戻る前に、前記キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に少なくとも 2 回通過する、前記レーザキャビティについての光学経路を定義するように配置されることを特徴とする請求項 13 に記載のレーザデバイス。

【請求項 15】

周波数同調可能なレーザデバイスであって、前記レーザデバイスのレーザキャビティを定義する反射要素の第 1 の構成と反射要素の第 2 の構成とを備え、前記レーザキャビティは、前記レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを提供し、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有し、前記第 2 の構成の前記反射要素は、前記レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、前記キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成を提供し、前記キャビティ同調構成の前記反射要素は、光学的に直列に配置され、前記レーザキャビティの前記有効光学経路長は、前記キャビティ同調構成の所定の動作によって選択的に調整可能であり、前記第 1 の構成の前記反射要素は、前記第 1 の構成の前記反射要素の同じ反射要素へ戻る前に、前記キャビティ同調構成の前記直列の反射要素を各方向に少なくとも 2 回通過する、前記レーザキャビティについての光学経路を定義するように配置されることを特徴とする周波数同調可能なレーザデバイス。

10

20

【請求項 16】

前記第 1 の構成は、奇数個の反射要素を含むことを特徴とする請求項 14 または 15 に記載のレーザデバイス。

【請求項 17】

前記第 1 の構成の前記反射要素のうちの少なくとも 1 つは、再帰反射構成要素であることを特徴とする請求項 13 乃至 16 のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

【請求項 18】

前記第 1 の構成の前記反射要素のうちの少なくとも 1 つは、屋根型プリズムなどの側方変位構成要素であることを特徴とする請求項 13 乃至 17 のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

30

【請求項 19】

前記第 1 の構成の 1 対の反射要素間の分離は、前記キャビティ同調構成の 1 対の反射要素間の分離の 2 倍よりも小さくなるように配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 18 のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

【請求項 20】

前記キャビティ同調構成の反射要素のうちの少なくとも 2 つは、互いに実質的に平行であることを特徴とする請求項 1 乃至 19 のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

【請求項 21】

前記キャビティ同調構成は、偶数個の反射要素を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 20 のいずれか一項に記載のレーザデバイス。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、周波数制御可能なレーザデバイスに関する。特に、本発明は、高周波数で変調またはチャープされることが可能な周波数制御可能なレーザデバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

干渉法などにおいて用いるための、周波数チャープされたレーザデバイスが知られている。特に、レーザキャビティが、コリメートされた光が向けられる回折格子を含む、いわ

50

ゆるリトロ方式を実装するレーザデバイスを提供することが知られている。回折格子の傾斜は、レーザの周波数およびキャビティ長が同時に変更されて、必要とされる周波数同調をモードホッピングなしに提供することを可能にする。しかしながら、リトロ配置は、明確に定義された支点を中心にして回折格子が回転されなければならないという不都合を有する。したがって、格子動作の必要な精度を提供するために必要とされる非常に安定した機械的な配置は、高い周波数変調速度を得ることを困難にする。

#### 【0003】

この問題は、特許文献1および特許文献2において対処された。特に、光線を生成するためのレーザ源と、スペクトル同調要素と、光線をスペクトル同調要素へ向けるための1または複数のさらなる光学構成要素とを備える周波数同調可能な外部キャビティレーザデバイスが説明されている（例えば、特許文献1参照）。レーザデバイスのレーザキャビティの一部を形成する光学構成要素は、第1の自由度で移動可能であり、それにより、第1の自由度で移動可能な光学構成要素は、レーザキャビティの有効光学経路長と、スペクトル同調要素の同調周波数とを同時に変更し、それによって、モードホッピングが抑制される周波数同調を提供する。さらに、有効光学経路長および同調周波数は、第1の自由度以外の自由度の動作可能な光学構成要素のいかなる動作に対しても実質的に反応しない。

#### 【0004】

特許文献1および特許文献2において説明されるレーザデバイスなどの、周波数同調可能なレーザデバイスに対して、さらなる改善を提供することが望ましい。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献1】国際公開第2009/081160号パンフレット

【特許文献2】国際公開第2010/070272号パンフレット

#### 【発明の概要】

#### 【0006】

本発明の第1の態様によれば、周波数同調可能なレーザデバイスであって、レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを定義するレーザキャビティを備える周波数同調可能なレーザデバイスが提供される。各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有する。レーザキャビティは、複数のキャビティモードのうちの1つのキャビティモードと周波数を揃えて、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促すことが可能な選択特徴を備えた周波数応答を有するキャビティモードセレクトアを含む。そのキャビティモードは、「選択されたキャビティモード」と称される。キャビティモードセレクトアは、選択特徴の周波数がキャビティモードセレクトアの所定の動作によって、例えば、特定の自由度での回転などによって、選択的に調整可能であるように構成される。レーザキャビティは、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成も含む。キャビティ同調構成は、光学的に直列に配置された複数の反射要素を含む。選択されたキャビティモードの周波数は、キャビティ同調構成の所定の動作によって、例えば、特定の自由度（例えば、キャビティモードセレクトアに関して上述されたものと同じ自由度）での回転などによって、選択的に調整可能である。レーザデバイスは、キャビティモードセレクトアおよびキャビティ同調構成に同時協調動作を実行させるように構成されたアクチュエータ（または、させるための手段）であって、選択特徴および選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数は、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有する結果として、少なくともパラメータの所定の範囲にわたって変化する、アクチュエータをさらに含む。

#### 【0007】

このような構成を用いれば、少なくとも所定のパラメータ範囲にわたって、キャビティモード間でのホッピング（すなわち、モードホッピング）が回避される（すなわち、単一モード同調が達成される）、レーザデバイスの周波数同調が提供され得る。

## 【 0 0 0 8 】

本発明の実施形態は、迅速に同調可能な狭線幅レーザデバイスを提供する。

## 【 0 0 0 9 】

キャビティモードセクタは、キャビティ同調構成と別個であってもよい。換言すれば、キャビティモードセクタは、キャビティ同調構成と異なる光学構成要素から形成されてもよい。

## 【 0 0 1 0 】

( 選択特徴を備える ) キャビティモードセクタの周波数応答に寄与する、キャビティモードセクタの部品は、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させることに寄与する、キャビティ同調構成の部分と別個であってもよい。

10

## 【 0 0 1 1 】

キャビティモードセクタの周波数応答は、複数のそのような選択特徴を有してもよく、複数の選択特徴の各々は、1つのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように潜在的に促すことができ、選択特徴のうちの1つのみが、選択されたキャビティモードと周波数を揃えられる。レーザデバイスは、( a ) 選択されたキャビティモードと揃えられたキャビティモードセクタの選択特徴と周波数を揃えることが可能なフィルタ機能を有し、かつ、( b ) キャビティモードセクタの周波数応答と組み合わせさせて、選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を生み出す周波数応答を有するフィルタ要素をさらに含み得る。アクチュエータは、フィルタ要素、キャビティモードセクタおよびキャビティ同調構成に同時協調動作を実行させ、揃えられた選択特徴、フィルタ機能および選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数が、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有して、少なくともパラメータの所定の範囲にわたって変化するように構成され得る。

20

## 【 0 0 1 2 】

本発明のさらなる態様によれば、周波数同調可能なレーザデバイスであって、レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを定義するレーザキャビティを備える周波数同調可能なレーザデバイスが提供される。各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有する。レーザキャビティは、複数のキャビティモードのうちの1つのキャビティモードと周波数を揃えることが可能な選択特徴を備えた周波数応答を有して、選択されたキャビティモードと称される、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促すキャビティモードセクタであって、選択特徴の周波数が、キャビティモードセクタの所定の動作によって選択的に調整可能であるキャビティモードセクタを含む。キャビティモードセクタの周波数応答は、複数のそのような選択特徴を有し、複数の選択特徴の各々は、1つのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように潜在的に促すことができ、選択特徴のうちの1つのみが、選択されたキャビティモードと周波数を揃えられる。レーザデバイスは、( a ) 選択されたキャビティモードと揃えられたキャビティモードセクタの選択特徴と周波数を揃えることが可能なフィルタ機能を有し、かつ、( b ) キャビティモードセクタの周波数応答と組み合わせさせて、選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を生み出す周波数応答を有するフィルタ要素をさらに含む。レーザデバイスは、キャビティモードセクタおよびフィルタ要素に同時協調動作を実行させるように構成されたアクチュエータ(または、させるための手段)であって、揃えられた選択特徴およびフィルタ機能のそれぞれの周波数が、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有する結果として、少なくともパラメータの所定の範囲にわたって変化するアクチュエータをさらに含む。

30

40

## 【 0 0 1 3 】

フィルタ要素は、直列に配置された複数のエタロンから形成されてもよく、複数のエタ

50

ロンのうちの各エタロンは、異なるエタロンモード間隔を有する。

【0014】

同時協調動作を実行する部品は、部品を互いに対して一定の關係に維持する結合によって、互いに機械的に結合されてもよく、アクチュエータは、結合された部品をグループとして一緒に移動させるように構成される。

【0015】

同時協調動作は、同時協調動作を実行する部品の各々の相対的な回転動作であってもよい。同時協調動作を特徴付けるパラメータは、相対的な回転動作に関連付けられた回転角度であってもよい。

【0016】

同時協調動作は、同時協調動作を同じ量だけ実行する部品の各々の相対的な回転動作であってもよい。

【0017】

依存性は、回転角度に対する逆余弦依存性であってもよい。

【0018】

キャビティモードセクタは、回折格子を含んでもよい。

【0019】

キャビティモードセクタは、複数のエタロンモードを定義する、対向する部分的な反射面を有するエタロンを含んでもよく、選択特徴または各選択特徴は、それぞれのエタロンモードであり、またはそれぞれのエタロンモードに関連する。

【0020】

キャビティモードセクタおよびフィルタ要素は、エタロンを共有してもよい。

【0021】

キャビティ同調構成の反射要素間の空間内に提供される媒体は、キャビティモードセクタエタロンの反射要素間の空間内に提供される媒体と実質的に同じ屈折率を有し得る。

【0022】

レーザデバイスは、反射要素の第1の構成と反射要素の第2の構成とを備えてもよく、第1の構成の反射要素および第2の構成の反射要素は、レーザデバイスのレーザキャビティを定義し、第2の構成の反射要素は、キャビティ同調構成の反射要素である。

【0023】

第1の構成の反射要素は、第1の構成要素の同じ反射要素へ戻る前に、キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に少なくとも2回通過する、レーザキャビティについての光学経路を定義するように配置され得る。

【0024】

キャビティ同調構成は、偶数個の反射要素を含み得る。

【0025】

光学的に直列に配置された、キャビティ同調構成の複数の反射要素は、直列の各反射要素が、もしあれば、直列の次の反射要素の方へ光を向けるように配置されるものとしてみなされ得る。

【0026】

キャビティ同調構成は、材料基板から形成されてもよく、キャビティ同調構成の反射要素は、材料基板の表面上に形成され、または材料基板の表面によって形成される。

【0027】

レーザデバイスは、レーザデバイスのレーザキャビティを外部レーザキャビティとする、外部キャビティレーザデバイスであってもよい。

【0028】

キャビティ同調構成の所定の動作は、キャビティ同調構成全体としての、すなわち、キャビティ同調構成の全ての反射要素がグループまたはユニットとして一緒に移動するような、動作であり得る。

【0029】

10

20

30

40

50

本発明のさらなる態様によれば、反射要素の第1の構成と反射要素の第2の構成とを備える周波数同調可能なレーザデバイスが提供される。第1の構成の反射要素および第2の構成の反射要素は、レーザデバイスのレーザキャビティを定義する。レーザキャビティは、レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを提供する。各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有する。第2の構成の反射要素は、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成を提供する。キャビティ同調構成の反射要素は、光学的に直列に配置される。レーザキャビティの有効光学経路長は、キャビティ同調構成の所定の動作によって、例えば、特定の自由度での回転などによって、選択的に調整可能である。第1の構成の反射要素は、第1の構成要素の同じ反射要素へ戻る前に、キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に少なくとも2回通過する、レーザキャビティについての光学経路を定義するように配置される。

10

【0030】

これは、少なくとも、レーザキャビティの端部反射器の役割を実行する第1の構成の反射要素、例えば、レーザ源に関連付けられた反射要素に関して適用される。

【0031】

第1の構成の反射要素は、第1の構成要素の同じ反射要素へ戻る前に、キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に少なくとも偶数回通過する、レーザキャビティについての光学経路を定義するように配置されてもよい。

20

【0032】

第1の構成は、奇数個の反射要素を含み得る。

【0033】

第1の構成の反射要素のうちの少なくとも1つは、再帰反射構成要素であってもよい。

【0034】

第1の構成の反射要素のうちの少なくとも1つは、屋根型プリズムなどの側方変位構成要素であってもよい。

【0035】

第1の構成の1対の反射要素間の分離は、キャビティ同調構成の1対の反射要素間の分離の2倍よりも小さくなるように、より好適には、キャビティ同調構成の1対の反射要素間の分離よりも小さくなるように、より好適には、キャビティ同調構成の1対の反射要素間の分離の半分よりも小さくなるように、より好適には、キャビティ同調構成の1対の反射要素間の分離の4分の1よりも小さくなるように、より好適には、キャビティ同調構成の1対の反射要素間の分離の10分の1よりも小さくなるように配置され得る。

30

【0036】

第1の構成の1対の反射要素は、レーザデバイスの端部ミラーを形成し得る。

【0037】

キャビティ同調構成の反射要素のうちの少なくとも2つは、互いに実質的に平行であり得る。

【0038】

キャビティ同調構成は、偶数個の反射要素を含み得る。

40

【0039】

本発明のさらなる態様によれば、反射要素の第1の構成と反射要素の第2の構成とを備える光学デバイスが提供される。第1の構成の反射要素および第2の構成の反射要素は、光学デバイスの光学キャビティ（または、光共振器もしくは共振器キャビティ）を定義する。光学キャビティは、複数のキャビティモード（または、共振器モードもしくは共振モード）を提供し、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有する。第2の構成の反射要素は、光学キャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成を提供する。キャビティ同調構成の反射要素は、光学的に直列に配置される。光学キャビティの有効光学経路長は、キャビティ同調構成の所定の動作によって、例えば、特定の自由度での回転などによって、選択的に調整

50



可能である。第 1 の構成の反射要素は、第 1 の構成要素の同じ反射要素へ戻る前に、キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に少なくとも 2 回通過する、光学キャビティについての光学経路を定義するように配置される。第 1 の構成の反射要素のうちの少なくとも 1 つは、再帰反射反射器であっても、または再帰反射反射器を含んでもよい。

【 0 0 4 0 】

本発明のさらなる態様によれば、直列に配置された複数のエタロンから形成されるフィルタを備えるレーザデバイスであって、複数のエタロンのうちの各エタロンが、異なるエタロンモード間隔を有するレーザデバイスが提供される。複数のエタロンは、好適には、受動的なエタロンである。

【 0 0 4 1 】

本発明のさらなる態様によれば、レーザデバイスのレーザキャビティを定義する反射要素の構成を備える外部キャビティレーザデバイスであって、レーザキャビティは、レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを提供し、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有し、反射要素のうちの少なくとも 1 つは、再帰反射構成要素である外部キャビティレーザデバイスが提供される。

【 0 0 4 2 】

本発明のさらなる態様によれば、レーザデバイスのレーザキャビティを定義する反射要素の構成を備える外部キャビティレーザデバイスであって、レーザキャビティは、レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを提供し、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有し、反射要素のうちの少なくとも 1 つは、屋根型プリズムなどの側方変位構成要素である外部キャビティレーザデバイスが提供される。

【 0 0 4 3 】

本発明の態様によれば、キャビティモードセクタと、キャビティ同調構成とを備える周波数同調可能なレーザデバイスが提供される。キャビティモードセクタは、レーザデバイスの選択されたキャビティモードと周波数を揃えることが可能な選択特徴を備えた周波数応答を有する。キャビティ同調構成は、光学的に直列に配置された複数の反射要素を含んでおり、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるために用いられる。レーザデバイスは、選択特徴および選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数が、同時協調動作を特徴付けるパラメータに実質的に同じ依存性を有して変化するように、キャビティモードセクタおよびキャビティ同調構成に同時協調動作を実行させるための手段をさらに備える。例えば、共回転エタロンを備えた潜望鏡は、特に、潜望鏡が主に余弦同調応答を与えるように構成される場合に、レーザデバイスのモードホップなしの同調を提供するために用いられ得る。

【 0 0 4 4 】

本発明の態様によれば、フィルタ要素とを備える周波数同調可能なキャビティモードセクタとレーザデバイスとが提供される。キャビティモードセクタは、複数の選択特徴を備えた周波数応答を有し、複数の選択特徴のうちの 1 つは、レーザデバイスの選択されたキャビティモードと周波数を揃えられる。フィルタ要素は、( a ) 選択されたキャビティモードと揃えられたキャビティモードセクタの選択特徴と周波数を揃えることが可能なフィルタ機能を有し、かつ、( b ) キャビティモードセクタの周波数応答と組み合わせさせて、選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を生み出す周波数応答を有する。レーザデバイスは、揃えられた選択特徴およびフィルタ機能のそれぞれの周波数が、同時協調動作を特徴付けるパラメータに実質的に同じ依存性を有して変化するように、キャビティモードセクタおよびフィルタ要素に同時協調動作を実行させるための手段をさらに備える。例えば、共回転フィルタおよびエタロンが用いられて、レーザデバイスのモードホップなしの同調が強化され得る。

【 0 0 4 5 】

本発明の態様によれば、光学デバイスの光学キャビティを定義する反射要素の第 1 の要

10

20

30

40

50

素と反射要素の第2の要素とを備える光学デバイスであって、光学キャビティが複数のキャビティモードを提供する光学デバイスが提供される。光学的に直列に配置される、第2の構成の反射要素は、光学キャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成を提供する。光学キャビティの有効光学経路長は、キャビティ同調構成の所定の動作によって選択的に調整可能である。第1の構成の反射要素は、第1の構成要素の同じ反射要素へ戻る前に、キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に少なくとも2回通過する、光学キャビティについての光学経路を定義するように配置される。光学デバイスは、光学キャビティをレーザデバイスのレーザキャビティとする、周波数同調可能なレーザデバイスであってもよい。例えば、ダブルパスは、端部ミラー角度ドリフトに対して安定化させるための手段として用いられてもよい。

10

#### 【0046】

本発明の態様によれば、直列に配置された複数のエタロンから形成されるフィルタを備えるレーザデバイスであって、複数のエタロンのうちの各エタロンが、異なるそれぞれのエタロンモード間隔を有するレーザデバイスが提供される。例えば、エタロンのペアまたはグループは、エタロン側のモード抑制のための多層フィルタの代替として使用されてもよい。

#### 【0047】

本発明の態様によれば、レーザデバイスのレーザキャビティを定義する反射要素の構成を備える外部キャビティレーザデバイスであって、反射要素のうちの少なくとも1つが、再帰反射構成要素または側方変位構成要素である外部キャビティレーザデバイスが提供される。

20

#### 【0048】

本発明の態様によれば、キャビティモードセレクトの選択特徴により、レーザキャビティモードのアラインメントを監視し、この監視を、それらの相対的なアラインメントを維持するための調整機構と組み合わせるための機構（例えば、光学構成要素からの反射および/または送信）が提供される。調整機構は、ダイオード駆動電流、および/またはダイオード温度、および/またはキャビティ内の少なくとも1つの要素の温度、および/またはキャビティ内の様々な同調部分/光学要素の回転/並進であってもよい。

#### 【0049】

上記に定義される本発明の任意の態様下で書かれる全ての付随的な記載は、適切な場合には、本発明のその他の態様に対して等しく適用されることに留意されたい。

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0050】

ここで、例として、添付の図面への参照が行われる。

【図1】本発明の実施形態を説明する際に用いるためのレーザデバイスの略図である。

【図2】図1のレーザデバイスに関連付けられる複数の別個のレーザキャビティモードの概略図である。

【図3】本発明の実施形態においてキャビティモードセクタとして用いられるエタロンを、エタロンのエタロンモードの導出において用いられる注釈と共に示す概略図である。

【図4】図2のレーザキャビティモードと組み合わせられた、図3のキャビティモードセクタの複数のモード（選択特徴）の概略図である。

40

【図5】図4の組み合わせられたエタロンモードおよびキャビティモード応答に対するフィルタの効果（および/または利得媒質の吸収帯）の概略図である。

【図6】本発明の実施形態においてキャビティ同調配置として用いられる潜望鏡配置の概略図である。

【図7】キャビティ同調配置の同調応答を導出するために用いられる付加的な注釈を伴う、図6の代替的なバージョンの図である。

【図8】キャビティ同調配置の同調応答を導出するために用いられる付加的な注釈を伴う、図6の別の代替的なバージョンの図である。

【図9】回転エタロンのキャビティ同調効果を導出するために用いられる付加的な注釈を

50

伴う、ガラスプレートの略図である。

【図 1 0 A】図 6 に例示される潜望鏡またはキャビティ同調配置に対する代替的な潜望鏡またはキャビティ同調配置を例示する図である。

【図 1 0 B】図 6 に例示される潜望鏡またはキャビティ同調配置に対する代替的な潜望鏡またはキャビティ同調配置を例示する図である。

【図 1 1】図 6 の端部反射器に対する取り得る強化を含む、図 6 に例示される方式の 1 つの実際的な配置を概略的に例示する図である。

【図 1 2】図 1 1 の配置の有利な変更例の概略図である。

【図 1 3】側方変位構成要素を用いる効果を示す、図 1 2 の変形例の図である。

【図 1 4】付加的なエタロンがモード選択エタロンと組み合わせて用いられるブロードバンドフィルタ要素に対する代替例を例示する図である。

【図 1 5】本発明の実施形態に係るレーザデバイスの一般化された概略図である。

【図 1 6】図 1 1 に例示される潜望鏡配置に対する、いくつかの代替的な潜望鏡配置を例示する図である。

【発明を実施するための形態】

【0051】

本発明の実施形態を詳細に説明する前に、同調可能な狭線幅レーザデバイスの基礎となる背景および理論が、図 1 を参照しつつ、まず検証される。

【0052】

図 1 は、反射防止膜を備えた前面 4 と、反射膜を備えた後面 6 とを有する、（例えば、半導体ダイオードによって形成される）光学利得媒体 2 を備える同調可能な外部キャビティレーザデバイス 1 を例示する。光学利得媒体 2 の正面に配置されるカップリングレンズ 8 は、光を光学利得媒体 2 の内部および外部に結合する。その前面 1 4 上に部分的な反射膜を備えた光透過性光学要素 1 2 は、共鳴外部レーザキャビティ 5 を形成するように配置され、レーザキャビティ 5 の長さは、光学利得媒体 2 の後面 6 と光学要素 1 2 の前面 1 4 との間の距離  $L_c$  によって定義される。光学要素 1 2 の前面 1 4 上の膜は、部分的に透過性であるため、レーザキャビティ 5 からのいくつかの光は、光学要素 1 2 を通過して、レーザデバイス 1 からの出力 1 6 を形成する。

【0053】

もちろん、他の外部キャビティレーザデバイス構成も可能である。例えば、レーザデバイス 1 からの出力 1 6 は、光学利得媒体 2 の後面 6 上に部分的な反射膜を有し、光学要素 1 2 の前面 1 4 上に完全な反射膜を有することによって、光学利得媒体 2 の後ろ側から代わりに取得されてもよい。あるいは、光は、ビームスプリッタ構成要素（図示せず）を含めることによって、レーザデバイス 1 から抽出されてもよい。他の構成は、当業者には容易に明らかとなるであろう。

【0054】

レーザデバイス 1 は、エタロン 1 0 およびフィルタ 2 0 の形態でスペクトル同調要素も備え、これらは、レーザキャビティ 5 内のレーザ光学経路に配置される。エタロン 1 0 およびフィルタ 2 0 の効果は、下記でより詳細に説明されるであろう。また、下記に解説されるように、エタロン 1 0 は、本明細書においてキャビティモードセクタとも称される。

【0055】

ひとまず、エタロン 1 0 およびフィルタ 2 0 の効果を見捨てる、レーザキャビティ 5 は、図 2 に概略的に例示されるように、各々が異なる周波数を有する（を中心とする）複数の別個のキャビティモードを生じさせる。キャビティモードは、整数の真空波長に等しいキャビティ長内で、完全に球状の光学経路長  $2 n_c L_c$  によって定義される。

$$2 n_c L_c = m \lambda_0$$

ただし、

$L_c$  は、キャビティ長である

$\lambda_0$  は、真空内での波長である

10

20

30

40

50

$n_c$  は、キャビティにおける光学屈折率である

$m_c$  は、整数である

レーザキャビティの連続するパス間の光学経路差 であるとみなされ得る上記式は、

【 0 0 5 6 】

【 数 1 】

$$c = \lambda_0 \nu_0$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{c}{\nu_c}$$

10

【 0 0 5 7 】

を用いることによって、真空波長  $\lambda_0$  ではなく、真空周波数  $\nu_0$  に関して記述され得る。ただし、 $c$  は、真空内での光の速度であり、 $\nu_0$  は、（真空周波数  $\nu_0$  と同じである）キャビティモード周波数である。

【 0 0 5 8 】

これは、

【 0 0 5 9 】

【 数 2 】

$$2n_c L_c = m_c \frac{c}{\nu_c}$$

20

【 0 0 6 0 】

を与える。

【 0 0 6 1 】

この上記式は、キャビティモード周波数  $\nu_c$  についての式を提供するように再構成され得る。

【 0 0 6 2 】

【 数 3 】

$$\nu_c = m_c \frac{c}{2n_c L_c}$$

30

【 0 0 6 3 】

したがって、隣接するキャビティモード間の周波数間隔は、

【 0 0 6 4 】

【 数 4 】

$$\frac{c}{2n_c L_c}$$

【 0 0 6 5 】

である。

40

【 0 0 6 6 】

この周波数間隔は、図 2 上に示されている。図 2 に例示される別個のキャビティモードは、レーザデバイスの取り得る動作周波数を定義する。なぜなら、レーザは、それらの別個の周波数でのみレーザ発振することができるからである。単一モード動作を確保するためには、それらのキャビティモードのうちの 1 つだけを促進することが必要である。

【 0 0 6 7 】

単一キャビティモードを促進するための 1 つの手法は、レーザキャビティ 5 にエタロン 10 を含めることである。図 3 に例示されるように、エタロン 10 は、垂直分離  $t_0$  を有する、互いに実質的に平行な 2 つの部分的な反射面 17、19 によって形成される。光線 11 は、面法線に対して角度  $\theta$  でエタロン 10 に入射し、一方で、エタロン 10 内の光学

50

経路は、面法線に対して角度  $\theta_e$  である。

【 0 0 6 8 】

図 3 に示される点 A、B、D、E および F を参照すると、エタロン 10 の連続するパス間の光学経路差（すなわち、光線 13 と光線 15 との間の光学経路差）は、

$$\begin{aligned} &= (BD + DE) n_e - (BF) n_c \\ &= 2 (DE) n_e - (BF) n_c \end{aligned}$$

によって与えられる。ただし、 $n_e$  は、エタロン 10 の光学屈折率である。

【 0 0 6 9 】

基本的な三角法から、

$$BF = BE \sin \theta_e$$

であることが知られており、

$$BE = 2 DE \sin \theta_e$$

であることも知られている。

【 0 0 7 0 】

したがって、

$$BF = 2 DE \sin \theta_e \sin \theta_e$$

となる。

【 0 0 7 1 】

これを 1 についての式に代入すると、下記が得られる。

$$= 2 DE (n_e - n_c \sin \theta_e \sin \theta_e)$$

ここでも、基本的な三角法から、

【 0 0 7 2 】

【 数 5 】

$$DE = \frac{t_c}{\cos \beta_e}$$

【 0 0 7 3 】

であることが知られている。

【 0 0 7 4 】

スネルの法則からは、

【 0 0 7 5 】

【 数 6 】

$$\sin \alpha = \frac{n_e}{n_c} \sin \beta_e$$

【 0 0 7 6 】

であることも知られている。

【 0 0 7 7 】

したがって、これは、

【 0 0 7 8 】

【 数 7 】

$$\Delta = 2 \frac{t_c}{\cos \beta_e} (n_e - n_c \sin^2 \beta_e)$$

【 0 0 7 9 】

10

20

30

40

【数 8】

$$= \frac{2n_e t_e}{\cos \beta_e} (1 - \sin^2 \beta_e)$$

$$= 2n_e t_e \cos \beta_e$$

【0080】

を与える。

【0081】

エタロンモードは、（上記のキャビティモードの定義と同様に）整数の真空波長に等しい、エタロン10の連続するパス間の光学経路差によって定義される。 10

$$2 n_e t_e \cos \beta_e = m_e \lambda_0$$

ただし、

 $m_e$ は、整数である。

【0082】

 $\lambda_0$ は、真空内での波長である。

【0083】

ここでも、上記式は、

$$c = \lambda_0 \nu_0 = \lambda_e \nu_e$$

を用いることによって、波長 $\lambda_0$ ではなく、周波数 $\nu_0$ に関して記述され得る。ただし、 $\nu_e$ は、（真空周波数 $\nu_0$ と同じ）エタロンモード周波数である。 20

【0084】

これは、エタロンモード周波数 $\nu_e$ について下記式を与える。

【0085】

【数 9】

$$\nu_e = m_e \frac{c}{2n_e t_e \cos \beta_e}$$

【0086】

これと、上記で導出されたキャビティモード周波数 $\nu_c$ についての式とを比較する。 30

【0087】

【数 10】

$$\nu_c = m_c \frac{c}{2n_c L_c}$$

【0088】

エタロンの式は、「エタロン長」 $L_e$ を考慮することによって、類似の形式に置き換えられ得る。 $L_e$ は、固定ではないが、下記の式に従って変化する。

$$L_e = t_e \cos \beta_e$$

その結果、

40

【0089】

【数 11】

$$\nu_e = m_e \frac{c}{2n_e L_e}$$

【0090】

$L_e \ll L_c$ とすることによって、エタロンモード分離は、キャビティモード分離よりも非常に大きくなり、組み合わせられたキャビティおよびエタロン利得は、図4に概略的に例示されるようになる。

【0091】

50

図 4 に示されているように、エタロン利得（または周波数応答）は、キャビティ利得に効果的に重ね合わせられ、それにより、エタロン利得は、エタロン利得関数の包絡線に従って、キャビティモードを抑制するように周期的に動作する。図 4 において「0」と示されるキャビティモードは、エタロンモード利得の最大値と最もよく揃っている（その他のエタロンモード最大値はキャビティモードからわずかにずれている）ため、このキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振することが促される。なぜなら、このキャビティモードが最大の利得を有するからである。

#### 【0092】

したがって、理論上は、図 4 に従ってセットアップされたレーザは、キャビティモード「0」の周波数において単一モードで動作することとなる。エタロン 10 は、特定のキャビティモードを基本モードとなるように選出または選択するように動作している。換言すれば、エタロン 10 は、複数のうちの特定のキャビティモード（キャビティモード「0」）と周波数を揃えることが可能な選択特徴を備えた周波数応答（エタロンモード「k」）を有するキャビティモードセクタの役割を実行して、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振することを促している。さらには、選択特徴の周波数（エタロンモード「k」）は、エタロン 10 の回転によって選択的に調整可能である。

#### 【0093】

しかしながら、キャビティモード「0」を包含するエタロンモード「k」に隣接するエタロンモードは、エタロンモード利得最大値に非常に近いキャビティモードを有することが、図 4 から分かり得る。したがって、基本レーザモードは、エタロン長およびキャビティ長のうちの一方または両方におけるわずかなずれに非常に影響を受けやすく、これは望ましくないモードホッピングをもたらし得ることが理解され得る。この点において、モードホッピングとは、レーザがキャビティモード間で急に変化し、または「ホップする」場合であり、それにより、出力光も、異なる周波数間で不必要にホップする。

#### 【0094】

したがって、キャビティモードに対するエタロンモードの配置は、完全に保証されることはできないが、エタロン 10 に加えてブロードバンド（シングルピーク）フィルタが用いられて、エタロンモードのうちの 1 つを除いた全てのより確かな抑制が提供され得る。

#### 【0095】

適当な位置にブロードバンドフィルタ 20 を備えたレーザデバイス 1 についての純粋なキャビティ利得は、フィルタピークがキャビティモード「0」と揃えられた図 5 に概略的に例示される。ブロードバンドフィルタ 20 によって提供される付加的な抑制により、レーザデバイス 1 は、エタロン 10 利得またはフィルタ 20 利得（特に、フィルタ 20 利得）のわずかなずれがあったとしても、キャビティモード「0」の周波数において単一モードをより確実に動作させる。（レーザ媒体の自然な利得プロファイルも、自然なブロードバンドフィルタとして実際には動作し、これは、いくつかの提供例においては十分となり得る。）

#### 【0096】

キャビティモード「0」およびエタロンモード「k」が、周波数軸に沿って十分に同期されて移動させられ得る場合には、レーザデバイス 1 も、単一モード同調可能（すなわち、別のモードへホッピングせずに同調可能）である。この文脈において、「十分に同期され」とは、キャビティモード間隔、すなわち、

#### 【0097】

#### 【数 12】

$$\frac{1}{22n_c L_c} c$$

#### 【0098】

の半分未満であるか、またはキャビティモード間隔の半分と比べて小さい、キャビティモードとエタロンモードとの間の周波数差の（同調に起因する）導入であることが理解され

10

20

30

40

50

得る。

【 0 0 9 9 】

正または負のエタロンモード間隔の半分未満、すなわち、

【 0 1 0 0 】

【 数 1 3 】

$$\pm \frac{1}{2} \frac{c}{2n_e L_e}$$

【 0 1 0 1 】

未満の同調範囲の場合、ブロードバンドフィルタ 2 0 は固定であってもよい。より広い同調範囲の場合には、フィルタピークも、エタロンモード動作と適切に同期すべきである。この意味における適切に同期されとは、エタロンモード間隔の半分、すなわち、

【 0 1 0 2 】

【 数 1 4 】

$$\frac{1}{2} \frac{c}{2n_e L_e}$$

【 0 1 0 3 】

未満であるか、またはエタロンモード間隔の半分と比較して小さい、フィルタピークとエタロンモードとの間の周波数差の（同調に起因する）導入であることが理解され得る。

【 0 1 0 4 】

図 3 に関する上記議論から、入射角（および、それ故に、内角）を変化させることによって、エタロンモードが周波数軸に沿って移動され得ることは明らかである。エタロンモード周波数。についての式は、上記に導出されており、以下に複写される。

【 0 1 0 5 】

【 数 1 5 】

$$v_e = m_e \frac{c}{2n_e t_e \cos \beta_e}$$

【 0 1 0 6 】

ここで、ブロードバンド多層フィルタのピーク周波数  $\nu_f$  は、周波数軸に沿って、およそ

【 0 1 0 7 】

【 数 1 6 】

$$\nu_f \propto \frac{1}{\cos \beta_f}$$

【 0 1 0 8 】

として移動することが知られており、ただし、 $\beta_f$  は、フィルタ 2 0 内での有効光学経路角である。

【 0 1 0 9 】

上記の慎重な分析に基づいて、本出願人は、エタロンモード周波数とフィルタピークとの両方の光学経路角に対する逆余弦依存性に起因して、同調可能なレーザデバイスの有効な同調構成が、エタロン 1 0 の回転と、ブロードバンドフィルタ 2 0 のエタロン 1 0 との共回転とによって達成され得ることを認識した。本明細書における「逆余弦依存性」への言及は、逆関数（すなわち、逆余弦）ではなく、逆数（すなわち、余弦の逆数）への言及であることが強調されるべきである。

【 0 1 1 0 】

本出願人は、上記分析から、キャビティモードもエタロンモードおよびフィルタピークと同期して移動することを確保するためには、キャビティモードも何らかの形でエタロン

10

20

30

40

50



10 およびフィルタ20と同じ逆余弦回転依存性を有して変化させられることが理想的には必要とされることも認識した。

【0111】

本出願人は、このことが、第1の固定された端部ミラー26と、第1の固定された端部ミラー26に対して実質的に平行に配置された第2の固定された端部ミラー28との間に配置された回転可能なユニット30によってエタロン10およびフィルタ20が搭載された、図6に例示される構成によって達成され得ることを提案する。

【0112】

以下でさらに分かるように、外部ミラー26および28は、図1に例示されるレーザデバイス1の反射面6および前面14にそれぞれ対応する。ただし、キャビティ長は、図6において、 $L_c$ ではなく、 $t_c$ として記述されている。なぜなら、 $t_c$ は、固定された距離であるのに対して、有効レーザキャビティ長 $L_c$ は、回転可能なユニット30の回転角度に応じて変化するからである。これは、以下で明らかになるであろう。

【0113】

回転可能なユニット30は、「潜望鏡」構成において、互いに面して配置された第1の内部ミラー22および第2の内部ミラー24も搭載する（ミラー22および24は、回転可能なユニット30に関して「内部」であり、回転可能なユニット30に関して「外部」であるミラー26および28とは区別される）。したがって、第1のミラー22および第2のミラー24は、共に結合されており、互いに実質的に平行な反射面に内向きに面した状態で、互いに対して固定された位置を有する。回転可能なユニット30（および、それ故に、第1のミラー22および第2のミラー24ならびにエタロン10ならびにフィルタ20）は、矢印31によって示される方向に回転可能である。

【0114】

このような構成により、および、回転可能なユニット30が適当に位置決めされることにより、第1の外部ミラー26からの光は、第1の内部ミラー22によって第2の内部ミラー24へ向かって反射され、第2の内部ミラー24は、次いで、光を第2の外部ミラー28へ向かって反射する。光は、第1および第2の外部ミラー26、28に対して垂直に入射する。回転可能なユニット30におけるミラー22、24の潜望鏡構成が理由で、回転可能なユニット30は、「潜望鏡」ユニットと称され得る。

【0115】

レーザデバイス1が反射要素の第1および第2の異なる構成を有することが考慮され得る。第1および第2の外部ミラー26、28は、反射要素の第1の構成を形成し、一方で、第1および第2の内部ミラー22、24は、反射要素の第2の構成（潜望鏡ユニット30に対応する）を形成する。第1および第2の構成の反射要素は共に、レーザデバイス1のレーザキャビティを定義する。第2の構成の反射要素は、光学的に直列に配置されて、潜望鏡のような構成を形成し、（以下でより詳細に解説されるように）レーザキャビティの有効光学経路長を調整するためのキャビティ同調を提供する。

【0116】

回転可能な潜望鏡ユニット30を通過する光学経路は、図7に例示される形態を有する。単純化のために、回転可能な潜望鏡ユニット30は、屈折率 $n_p$ を有する媒体によりユニット30が満たされた状態で、第1の内部ミラー22と第2の内部ミラー24との間の分離 $t_p$ に等しい範囲を有するものとして、図7に例示される。ユニット30の外部のレーザキャビティ5においては、屈折率 $n_c$ の媒体が存在する。この単純化は、解説の目的のためにすぎず、分析は、第1および第2の内部ミラー22、24の平面間に潜望鏡材料を有する潜望鏡ユニット30についてのものである（例えば、潜望鏡ユニット30が、ミラー22、24を形成するための反射領域を有する、透過性材料の単一部品から作製されている場合）。潜望鏡材料の範囲と第1および第2の内部ミラー22、24の平面とが一致しない代替的構成についての分析は、当業者によって容易に導出することが可能であり、かつ、本発明の基礎となる原理に影響を及ぼさない単純な拡張である。以下で分かるように、1つの実装例において、潜望鏡ユニット30は、材料がユニット30の内部と外部

との両方で同じ ( $n_p = n_c$ ) になるように、いずれにせよ空気で満たされる。

【 0 1 1 7 】

回転可能な潜望鏡ユニット 30 を通過する光学経路長を導出する目的で、図 7 は、いくつかの付加的な注釈が含まれた状態で、図 8 として再提示される。図 8 を参照すると、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を通過する光学経路長は、ユニット 30 の外部の光学経路長と、ユニット 30 の内部の光学経路長との和として記述され得る。

【 0 1 1 8 】

$$\text{経路} = n_c (t_c - (AC + BF)) + n_p (AB + BD + DE)$$

$AB = BD = DE$  であるので、上記は、

$$\text{経路} = n_c t_c - n_c (AC + BF) + 3 n_p (AB)$$

10

として表現され得る。

【 0 1 1 9 】

基本的な三角法および光学から、

【 0 1 2 0 】

【 数 1 7 】

$$BF = BE \sin \alpha$$

$$BE = 2DE \sin \beta_p$$

$$DE = AB$$

$$\sin \alpha = \frac{n_p}{n_c} \sin \beta_p$$

20

【 0 1 2 1 】

(スネルの法則)

であることが知られている。

【 0 1 2 2 】

したがって、

【 0 1 2 3 】

【 数 1 8 】

$$BF = 2AB \frac{n_p}{n_c} \sin^2 \beta_p$$

30

【 0 1 2 4 】

$AC$  についての式は、下記のように導出され得る。

【 0 1 2 5 】

【 数 1 9 】

$$AC = AB \cos(\alpha - \beta_p)$$

$$= AB(\cos \alpha \cos \beta_p + \sin \alpha \sin \beta_p)$$

$$= AB \left( \cos \alpha \cos \beta_p + \frac{n_p}{n_c} \sin^2 \beta_p \right)$$

40

【 0 1 2 6 】

(スネルの法則を用いる)

【 0 1 2 7 】

したがって、

$$n_c (AC + BF) = AB (n_c \cos \alpha \cos \beta_p + 3 n_p \sin^2 \beta_p)$$

これを光学経路についての式に代入することは、

$$\text{経路} = n_c t_c - AB (n_c \cos \alpha \cos \beta_p + 3 n_p \sin^2 \beta_p) + 3 n_p (AB)$$

50

$$= n_c t_c - AB (n_c \cos \alpha \cos \beta_p + 3 n_p (1 - \cos^2 \beta_p) - 3 n_p)$$

$$= n_c t_c - AB (n_c \cos \alpha \cos \beta_p - 3 n_p \cos^2 \beta_p)$$

を与える。

【0128】

基本的な三角法から、

【0129】

【数20】

$$AB = \frac{t_p}{\cos \beta_p}$$

10

【0130】

であることが知られている。

【0131】

したがって、回転可能な潜望鏡ユニット30を通過する光学経路についての式は、

【0132】

【数21】

$$\text{path} = n_c t_c - \frac{t_p}{\cos \beta_p} (n_c \cos \alpha \cos \beta_p - 3 n_p \cos^2 \beta_p)$$

$$= n_c t_c - t_p (n_c \cos \alpha - 3 n_p \cos \beta_p)$$

$$= n_c (t_c - t_p \cos \alpha) + 3 n_p t_p \cos \beta_p$$

20

【0133】

となる。

【0134】

キャビティと同じ材料で満たされた潜望鏡ユニット30の場合、例えば、両方とも空気で満たされている場合、下記が成り立つ。

$$n_p = n_c$$

$$\beta_p =$$

30

【0135】

このような場合、回転可能な潜望鏡ユニット30を通過する光学経路についての式は、

$$\text{経路} = n_c (t_c + t_p \cos \alpha) + 3 n_c t_p \cos \alpha$$

$$= n_c (t_c + 2 t_p \cos \alpha)$$

となる。

【0136】

したがって、有効キャビティ長  $L_c$  は、

$$L_c = t_c + 2 t_p \cos \alpha$$

によって与えられる。

【0137】

$t_c \ll 2 t_p \cos \alpha$  である場合、これは、

【0138】

【数22】

$$L_c \approx 2 t_p \cos \alpha$$

【0139】

へとさらに単純化する。

【0140】

上記近似 ( $t_c \ll 2 t_p \cos \alpha$ ) は、特に、空気で満たされた潜望鏡ユニット30を

50

用いれば（または、潜望鏡媒体がキャビティ媒体と同じ場合）、実際に容易に実現可能である。これは、下記でより詳細に検証される。

【 0 1 4 1 】

潜望鏡ユニット 30 を適当な位置に備えれば、キャビティモードは、ここでも、整数の波長に等しいキャビティの連続するパス間の光学経路差 によって定義される（上記のエタロンおよび潜望鏡を有しないキャビティモードの定義と同様）。

【 0 1 4 2 】

【 数 2 3 】

$$2n_c L_c = m_c \frac{c}{\nu_c} \quad 10$$

【 0 1 4 3 】

これは、キャビティ長についての適当な式を用いる場合、下記を与える。

【 0 1 4 4 】

【 数 2 4 】

$$2n_c (2t_p \cos \alpha) \approx m_c \frac{c}{\nu_c}$$

【 0 1 4 5 】

これは、キャビティモード周波数  $\nu_c$  についての下記の下記の（近似された）式を与える。

20

【 0 1 4 6 】

【 数 2 5 】

$$\nu_c \approx m_c \frac{c}{2n_c (2t_p \cos \alpha)}$$

【 0 1 4 7 】

空気で満たされた潜望鏡レーザキャビティモードについての上記式と、エタロンモードについての前述の式とを比較すると、

【 0 1 4 8 】

【 数 2 6 】

30

$$\nu_c \propto \frac{1}{\cos \alpha}$$

【 0 1 4 9 】

であるのに対して、

【 0 1 5 0 】

【 数 2 7 】

$$\nu_e \propto \frac{1}{\cos \beta_e}$$

40

【 0 1 5 1 】

であることが認識され得る。

【 0 1 5 2 】

空気で満たされたエタロン 10 について（または、エタロン媒体がキャビティ媒体と同じである場合）、内部エタロン角  $\theta_e = \theta$  であるので、モード同調は、回転角度  $\theta$  に対して実質的に同じ依存性を有させることができ、単一モード（すなわち、モードホップなしの）レーザ動作が、かなりの同調範囲にわたって達成され得る。

【 0 1 5 3 】

エタロン 10 または潜望鏡ユニット 30 のいずれかが、異なる率の材料を含有する場合（および、上記近似  $t_c \ll 2 t_p \cos \alpha$  を考慮すると）、同調一致は、近似にすぎない

50

が、それでもなお、このような構成は、一致した逆余弦依存性に起因して、やはり非常に良好な単一モード（すなわち、モードホップなしの）性能を広い範囲にわたって提供することが認識され得る。

【 0 1 5 4 】

潜望鏡ユニット 30 におけるミラー 22、24 の構成は、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成の役割を実行し、選択されたキャビティモードの周波数は、キャビティ同調構成の回転によって選択的に調整可能である。

【 0 1 5 5 】

さらに、キャビティモードセクタ（エタロン 10）およびキャビティ同調構成（潜望鏡ユニット 30）が、互いに共回転することによって同時協調動作を実行する場合、エタロンモード「k」（選択特徴）およびキャビティモード「0」（選択されたキャビティモード）のそれぞれの周波数は、少なくとも回転角度の所定の範囲にわたって、回転の角度に対して実質的に同じ依存性を有して変化する。このような構成によって、レーザデバイス 1 の周波数同調は、少なくとも、モードホッピングが抑制されるその所定範囲にわたって提供される。

【 0 1 5 6 】

例えば、特許文献 2 において開示されているような回転エタロンのみと比較した、共回転潜望鏡構成を用いることの利点が、ここで検証される。また、上述された近似の有効性も検証される。

【 0 1 5 7 】

（例えば、ガラス製の、または別の媒体で満たされた間隙の両面にガラスの厚さを有する）回転エタロンのみを備えた、キャビティ内エタロン構成についてのキャビティモードは、図 8 に示されるキャビティ内潜望鏡構成についてのキャビティモードと非常に類似した手法で導出され得る。

【 0 1 5 8 】

ガラス板を用いる場合、図 8 の BD セグメント、DE セグメントおよび BF セグメントは分析において取り上げられず、AB セグメントおよび AC セグメントのみが関連する。ガラス板（エタロン 10 を表す）についての光学経路は、 $n_g$  をガラスの屈折率とし、 $\theta_g$  をガラス内での内角として、図 9 に例示される。

【 0 1 5 9 】

光学経路は、下記のように定義される。

経路 =  $n_c (t_c - AC) + n_g (AB)$

【 0 1 6 0 】

前述の分析から、

【 0 1 6 1 】

【 数 2 8 】

$$AC = AB \left( \cos \alpha \cos \beta_g + \frac{n_g}{n_c} \sin^2 \beta_g \right)$$

$$AB = \frac{t_g}{\cos \beta_g}$$

【 0 1 6 2 】

であることが既に知られている。

【 0 1 6 3 】

したがって、

【 0 1 6 4 】

10

20

30

40

【数 2 9】

$$\begin{aligned}
 \text{path} &= n_c t_c - AB \left( n_c \left( \cos \alpha \cos \beta_g + \frac{n_g}{n_c} \sin^2 \beta_g \right) - n_g \right) \\
 &= n_c t_c - \frac{t_g}{\cos \beta_g} (n_c \cos \alpha \cos \beta_g + n_g (1 - \cos^2 \beta_g) - n_g) \\
 &= n_c t_c - t_g (n_c \cos \alpha - n_g \cos \beta_g) \\
 &= n_c (t_c - t_g \cos \alpha) + n_g t_g \cos \beta_g
 \end{aligned}$$

10

【0 1 6 5】

キャビティ内潜望鏡構成およびキャビティ内エタロン構成についての導出されたキャビティ光学経路を比較すると、

$$\text{潜望鏡経路} = n_c (t_c - t_p \cos \alpha) + 3 n_p t_p \cos \alpha$$

$$\text{エタロン (ガラス板) 経路} = n_c (t_c - t_g \cos \alpha) + n_g t_g \cos \alpha$$

【0 1 6 6】

これらは非常に類似しており、最終項 ( $n t \cos \alpha$ ) の倍数において異なることが分かる。両方の経路が、 $\alpha$  と  $\beta$  の両方に対する依存性を有する。しかしながら、重要な相違点は、潜望鏡構成では、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を空気で満たすことによって、 $\alpha$  と  $\beta$  が等しくされ得る (または、少なくとも、キャビティと同じ材料を有する、すなわち、 $n_p = n_c$ ) という点である。上記で分かるように、式の左側の余弦項は、右側の 3 つの余弦項のうちの 1 つを相殺し、潜望鏡経路を、

20

$$\text{経路} = n_c (t_c - 2 t_p \cos \alpha)$$

にまとめる。

【0 1 6 7】

同じことがエタロン 10 について試行された場合、余弦項は互いを完全に相殺し、 $n_c t_c$  項のみを残し、(ガラスが空気によって置換されているので、当然に) 回転に対して依存しない。キャビティおよびエタロン 10 について別個で異なる屈折率を用いれば、 $\alpha$  と  $\beta$  の両方に対する依存性は残存し、その結果、潜望鏡構成について存在するような、回転角度に対するキャビティモード周波数の純粋な逆余弦依存性は存在しない。

30

【0 1 6 8】

さらに、上述されたように、潜望鏡構成では、 $t_c \ll 2 t_p \cos \alpha$  という付加的な近似が行われることができ、 $\alpha$  に対するほぼ純粋な余弦依存性に経路をまとめ、

【0 1 6 9】

【数 3 0】

$$\text{path} \approx n_c 2 t_p \cos \alpha$$

【0 1 7 0】

キャビティモード周波数  $\nu_c$  へのほぼまたは実質的に純粋な逆余弦依存性を残す。

40

【0 1 7 1】

【数 3 1】

$$\nu_c \approx m_c \frac{c}{2 n_c (2 t_p \cos \alpha)}$$

【0 1 7 2】

この近似 ( $t_c \ll 2 t_p \cos \alpha$ ) は、図 10 A に例示されるような回転可能な潜望鏡ユニット 30 についての構成を使用して、実際に容易に達成され得る。キャビティ長  $t_c$  は、どのような任意の値、例えば、ゼロにされてもよい。それは、負数にすらされてもよい。キャビティ長  $t_c$  は、潜望鏡ユニット 30 とエタロン 10 との最良の同調一致を得る

50

ように、設計によって設定される。例えば、エタロン 10 は固体ガラスであるが、潜望鏡ユニット 30 が空気で満たされている場合、正のキャビティ長  $t_c$  は、最良の同調範囲を達成することができる。両方が空気で満たされている場合、キャビティ長  $t_c = 0$  が原理上は最良であるが、実際には、ゼロに近い何らかの値が典型的である。(コリメートレンズ、フィルタ基板およびガラス基板などの) ガラス厚に応じて、最適なキャビティ長  $t_c$  は、実際にわずかに負となり得る。

#### 【0173】

図 10 B は、潜望鏡ユニット 30 内に、2 つの代わりに、4 つのミラー 22 a、22 b、24 a および 24 b を有する、図 10 A のバリエーションを示す。右側の隣接するミラー 22 a、22 b のペアは、再帰反射器 (例えば、屋根型プリズム、キャッツアイ反射器またはコーナー反射器) などの単一の構成要素によって提供されてもよく、左側の隣接するミラー 24 a、24 b のペアについても同様である。

10

#### 【0174】

要約すれば、回転可能な潜望鏡構成の重要な利点は、エタロン応答に対する一致 (または、少なくともさらにずっと近い近似) であり、それにより、キャビティモードおよびエタロンモードは、(何らかの近似が行き詰まり始める前に) 同期して、同じレートで、より広い範囲で、周波数軸に沿ってシフトする。空気で満たされたエタロン 10、およびゼロに近い  $t_c$  を有する、空気で満たされた潜望鏡ユニット 30 は、典型的には、(潜在的に、実際には、中心波長の数パーセントの単一モード同調範囲で) 最良の性能を与える。中空でないエタロンおよび正の  $t_c$  を用いても、同調範囲は、特許文献 2 の過去に考慮された方式よりも、やはり改善される (例えば、中心波長の 0.5% よりも大きい)。

20

#### 【0175】

図 6 に例示される方式の 1 つの実際的な構成が、図 11 に示される。図 11 は、図 1 からの光学利得媒体 2 およびコリメートレンズ 8 を示すことによって、および、潜望鏡ユニット 30 を矢印 31 によって示される方向へ回転させるように構成されたアクチュエータ 40 を示すことによって、図 6 に示された表現とは異なる。アクチュエータ 40 は、そのような動作を実行するための必要なモータおよび制御エレクトロニクス (図示せず) の全てを含んでおり、その詳細は、当業者には容易に明らかとなるであろう。例えば、回転動作について、軸を駆動するモータを提供することは必須ではないが、当業者は、そのような動作が、代わりに、適切な結合およびピボットと組み合わせた 1 または複数の線形駆動によって達成され得ることを容易に理解するであろう。

30

#### 【0176】

この点において、回転可能なグループまたはユニット 30 の並進は、レーザデバイス 1 の同調に対して影響を与えず、その結果、本方式が並進に対して堅固であることも留意されるべきである。したがって、回転動作を提供するためにどのような機構が用いられても、本方式は、同時に導入されるいかなる並進動作に対しても影響を受けない。これは、本方式を堅固にし、複雑な動作制御機構が必要とされないことを意味する。

#### 【0177】

しかしながら、端部ミラー 28 が、例えば機械的ドリフトに起因して、傾斜した場合、レーザキャビティは配置から外れることがある。この問題を克服するために、および改善された安定性を提供するためには、端部ミラー 28 を、図 11 に概略的に例示されるようなキャッツアイ反射器またはコーナー反射器などの再帰反射構成要素と置換することが望ましい。キャッツアイ反射器は、屈折要素の焦点面が反射面と一致するように配置された、屈折光学要素と反射面と (典型的には、透明な球体と球状のミラーと) を備える。コーナー反射器は、立方体の角部を形成するように配置された、3 つの互いに垂直な反射面のセットを備える。

40

#### 【0178】

エタロン 10 およびフィルタ 20 は、回転可能なユニット 30 内の光学経路に沿った任意の場所に配置されてもよく、図 6、図 10 および図 11 に例示された場所に配置される必要はないことが、当然ながら認識されるであろう。エタロン 10 およびフィルタ 20 は

50

各々、回転可能なユニット 30 を通過する光学経路の底部区間、中間区間および上部区間のうちのいずれか 1 つに沿った任意の位置において、個々に独立して置かれ得る。エタロン 10 およびフィルタ 20 は、光学経路の同じ区間に沿って、互いに隣接して配置されてもよい。実際に、エタロン 10 およびフィルタ 20 の役割は、いくつかの実施形態においては、単一の構成要素に組み合わせられてもよい。

#### 【0179】

キャビティにおいて用いられる利得材料に応じて、使用可能な単一モード動作範囲を最大化するために、材料分散を補償するように潜望鏡形状をわずかにオフセットさせることは有利となり得る。幾何学的誤差を導入することの代替案として、同じように、補償分散構成要素をキャビティ内に導入し、または（ダイオード注入電流などの）動作パラメータ

10

#### 【0180】

図 11 に示される構成を参照すると、潜望鏡ユニット 30 のアクションに起因する、端部反射器 28 におけるレーザビームの側方動作が、一定の要求の厳しい適用例において必要とされる高精度で再帰反射器方式を実装することを困難にし得ることを、本出願は認識した。この問題は、図 12 に例示されるような変形された方式を用いて克服されて、改善された安定性を提供することができる。

#### 【0181】

方式図 12 は、図 11 に示された方式に厳密に基づいており、重要な相違点は、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を通じてレーザビームが戻される点であり、これを達成するための付加的な反射器 29（再帰反射構成要素であってもよい）を備える。付加的な反射器 29 は、図 6 を参照しつつ上述された反射要素の第 1 の構成の一部を形成し、事実上、ここでは（反射器 28 ではなく）レーザキャビティの端部反射器である。図 12 において、エタロン 10 およびフィルタ 20 は、戻りビームがエタロン 10 およびフィルタ 20 を通過しない、単一の要素として示される（ただし、別の実施形態においては、必要とされない場合であっても、戻りビームがこれらのうちの一方または両方を通過し得る）。このような構成は、回転角度に対する、選択されたキャビティモード周波数の逆余弦依存性を維持し、その結果、潜望鏡構成の上述された利点が、やはり適用される。

20

#### 【0182】

反射器 28 は、側方変位構成要素（例えば、屋根型プリズム、コーナー立方体またはレンズ/反射器など）によって置換されて、構成要素の配置を簡単にし、ビームクリッピングおよびエタロン 10 を通じた入射角の調整（compilation）を回避する。これは、図 13 に例示されており、図 13 は、側方変位構成要素を反射器 28 として用いることが、構成要素 10、20 と、点鎖線で示されるビームとの間に、より大きな間隔を生み出したことを実証する。

30

#### 【0183】

回転可能な潜望鏡ユニット 30 は回転させられることが上述されているが、重要なことは、他の構成要素に対するユニット 30 の回転である。したがって、代わりに、ユニット 30 を固定し、他の構成要素を回転させること、または組み合わせを用いて相対的な回転を達成することが可能である。

40

#### 【0184】

上述された実施形態において、エタロン 10 は、キャビティモードセクタの役割を実行する。しかしながら、本発明は、エタロンをキャビティモードセクタとして用いることに限定されない。より一般的には、本発明と共に用いるためのキャビティモードセクタは、特定のキャビティモードと周波数を揃えることが可能な選択特徴（例えば、エタロンのモードピークなど）を備えた周波数応答を有して、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先されてレーザ発振するように促す。例えば、キャビティモードセクタは、回折格子であってもよい。

#### 【0185】

選択特徴は、周波数応答における正確な最大値点に対応する必要はないが、その最大値

50



を包含する有限範囲の周波数に及ぶとみなされ得ることも認識されるであろう。したがって、選択特徴がエタロンモード利得におけるピークであるエタロンの場合において、選択特徴は、それ自体の最大値のみである必要はない。むしろ、「ピーク」または「選択特徴」は、例えば、ピークの高さの半分もしくはピークの範囲の何らかの他の適切な定義まで、その最大値の両側に拡張してもよい。この文脈における「ピーク」は、有限幅の特徴であり、必ずしも最大値点を意味するとは限らない。

【0186】

したがって、本明細書において、選択特徴がキャビティモード周波数と揃えられると述べられる場合には、どのように定義されたものであれ、選択特徴の任意の部分がキャビティモード周波数と揃えられれば十分である。特に、選択特徴のピークの最大値がキャビティモードのピークと正確に揃えられることは、そのことが最良の同調性能を達成するために好適であり得るとしても、実際には必要ではない。必要なことは、選択特徴が、選択されたキャビティモードの周波数と揃えられる場合に、そのキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促すことである。

10

【0187】

さらに、上記実施形態は、レーザデバイスの同調を達成するための、構成要素の相対的な回転を説明するが、同調が並進によって、または組み合わせられた回転および並進によってすら影響を受けることが考えられる。一般に、キャビティモードセクタ周波数プロファイルの選択特徴の周波数は、キャビティモードセクタの所定の動作によって選択的に調整可能であるべきである。

20

【0188】

同様に、上述された潜望鏡構成は、レーザキャビティの有効光路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成の1つの例にすぎず、（選択されたキャビティモードの周波数を選択的に調整するための）有効光路長の同調は、一般に、キャビティ同調構成の所定の動作が回転または並進または組み合わせられた回転および並進であれ、キャビティ同調構成の所定の動作によって影響を受け得る。

【0189】

一般的な場合において、アクチュエータは、キャビティモードセクタおよびキャビティ同調構成に同時協調動作を実行させるように構成され、選択特徴および選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数は、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対する実質的に同じ依存性を有して、少なくともそのパラメータの所定の範囲にわたって、同時協調動作の結果として変化する。

30

【0190】

したがって、構成要素は、一緒に回転するように物理的に結合される必要はないが、例えば、独立して、ただし、協調して、回転され得る。例えば、選択特徴の周波数および選択されたキャビティモードの周波数が、回転角度に対して同じ依存性を有するとすれば、構成要素は、角回転において全く同じ変化を有して独立して回転させられてもよい。同時協調動作を特徴付けるパラメータは、この場合には、単なる回転角度である。

【0191】

選択特徴の周波数および選択されたキャビティモードの周波数が、回転角度に対して同じ依存性を有しない場合、動作は、適宜協調され得る。例えば、周波数は、回転角度に対して、等しいが逆の依存性を有し得る。この場合において、構成要素は、同じレートで逆向きに回転させられ得る。同時協調動作を特徴付けるパラメータは、構成要素のうちの1つの回転角度であり得る。なぜなら、その他の構成要素の回転角度は、単に構成要素のうちの1つの回転角度の負数となるからである。

40

【0192】

あるいは、1つの構成要素が逆 $\cos$ 依存性を有してもよく、一方で、その他の構成要素が逆 $\cos^2$ 依存性を有してもよい。この場合において、第2の構成要素は、第1の構成要素の半分のレートで回転させられ得る。同時協調動作を特徴付けるパラメータは、第1の構成要素の回転角度として定義され、またはみなされ得る。なぜなら、その他の

50

構成要素の回転角度は、単に第 1 の構成要素の回転角度の 2 倍となるからである。単一のパラメータ ( ) のみが、両方の構成要素の同時協調動作を特徴付けるために必要とされる。

#### 【0193】

あるいは、1 つの構成要素が逆  $\cos$  依存性を有してもよく、一方で、その他の構成要素は、逆  $\cos$  依存性を有してもよい。この場合において、第 2 の構成要素は、 $\cos$  と  $\sin$  の間の関係に応じて、第 1 の構成要素と異なるレートで回転させられ得る。同時協調動作を特徴付けるパラメータは、 $\cos$  もしくは  $\sin$  として、または、これら 2 つの何らかの組み合わせもしくは関数として定義され得る。

#### 【0194】

同様の考察は、フィルタ 20 についても適用される。例えば、図 5 を参照しつつ、単一のブロードピークを有するブロードバンドフィルタ (例えば、多層フィルタなど) が説明されたが、フィルタ 20 についての他の可能性が存在する。一般に、フィルタは、(a) 選択されたキャビティモードと揃えられたキャビティモードセレクタの選択特徴と周波数を揃えることが可能なフィルタ機能を有し、かつ、(b) キャビティモードセレクタの周波数応答と組み合わせさせて、選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を生み出す周波数応答を有するべきである。ここでも、フィルタ機能は、典型的には、有限幅の特徴である。

#### 【0195】

例えば、代替案は、第 2 の共回転エタロンをフィルタ 20 として用いることであり、第 2 のエタロンは、モード選択エタロン 10 とはわずかに異なる光学経路  $2n_oL_o$  を有し、それにより、モードピークの 1 つのペアのみがレーザ材料利得帯域内で一致し、または、少なくとも、レーザ発振モードに対していかなる現実的な影響も有しないように十分に抑制される材料利得において任意の付加的な一致するピークが発生する。これは、図 14 に例示される。このような方式を用いれば、エタロン 10 およびフィルタ 20 の役割は、選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先してレーザ発振するように促す、組み合わせられた周波数応答を有する、単一の構成要素へと効果的に組み合わせられる。組み合わせられたエタロン 10 およびフィルタ 20 構成要素の全体的な利得プロファイルを微調整して、例えば、よりはっきりとしたもしくはより明確な中央ピークを得るために、または中心を外れたピークのより良好な抑制を提供するために、3 つ以上のエタロンがこのようにして積層されてもよいことも認識されるであろう。

#### 【0196】

また、フィルタは、その他の構成要素に物理的に結合されて、これらと共に移動する必要はない。アクチュエータは、フィルタ要素、キャビティモードセレクタおよびキャビティ同調構成のうちの 2 つ以上に同時協調動作を実行させるように構成され、揃えられた選択特徴、フィルタ機能および選択されたキャビティモードのそれぞれの周波数は、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有して、少なくともそのパラメータの所定の範囲にわたって変化する。

#### 【0197】

上記を考慮すると、本発明の実施形態は、独立して動作可能であるが、アクチュエータ 40 によって同時協調動作を実行させられるキャビティモードセレクタ 10、キャビティ同調構成 30 およびフィルタ要素 20 を示す図 15 において、(概略的ではあるが) より一般的に例示される。アクチュエータ 40 は、キャビティモードセレクタ 10、キャビティ同調構成 30 およびフィルタ要素 20 を制御して、同時協調動作を実行するように構成され、キャビティモードセレクタ 10、キャビティ同調構成 30 およびフィルタ要素 20 のそれぞれの特徴的な周波数は、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して実質的に同じ依存性を有して、少なくともそのパラメータの所定の範囲にわたって、その同時協調動作の結果として変化する。

#### 【0198】

いくつかの利点は、キャビティモードセレクタ 10、キャビティ同調構成 30 およびフ

10

20

30

40

50

フィルタ要素 20 のうちの 1 つ（ただし、2 つではない）の協調動作が緩和されても、または、キャビティモードセクタ 10、キャビティ同調構成 30 およびフィルタ要素 20 のうちの 1 つ（ただし、2 つではない）が、同時協調動作を特徴付けるパラメータに対して同じ依存性を有していなくても、やはり得られることが認識されるであろう。そうすることは、例えば、3 つの構成要素全てが同じ依存性を有し、かつ、動作が協調される場合と同じほど単一モード同調範囲が広くないことを意味する。したがって、本発明は、図 15 に例示される構成要素 10、20 および 30 のうちの 2 つ以上の任意の組み合わせに対して適用されることを意図される。

#### 【0199】

構成要素 10、20 および 30 の各々の動作に対する独立した制御により、基礎となる理論上の依存性が（例えば）回転角度に対する逆余弦依存性であったとしても、これらの構成要素のうちの 1 または複数が、その理論上の依存性から逸脱する場合（例えば、近似が行き詰まり始める場合）、アクチュエータは、所望の動機を回復するために、動作を適宜調整するように構成され得る。

#### 【0200】

ミラーの「潜望鏡構成」という表現の意味は、当業者によって十分に理解されるであろうが、誤解を避けるために、複数のミラーが光学的に直列に配置される構成を意味すると理解され得る。光学的に直列とは、直列の各ミラーが、もしあれば、直列の次のミラーの方へ光を向けるように配置されることを意味する（直列の最後のミラーは、光を潜望鏡構成から離れて、上述された第 1 の構成のミラーの方へ向ける）。ミラーは、この文脈において、少なくとも部分的に反射的な表面であり、または少なくとも部分的に反射的な表面を有するものとして理解され得るが、限定となることは意図されない（例えば、単一の反射要素は、隣接していてもいなくても、任意の数の反射面から構成されてもよく、反射機能は、例えば、回折格子によって提供されてもよい）。したがって、「反射要素」という、より一般的な用語が、「ミラー」の代わりに用いられ得る。潜望鏡構成のミラーは、図 6 から図 8 および図 10 から図 12 に例示されるように平行である必要はない。しかしながら、非平行な構成は、構成の並進に対してキャビティ経路が影響を受けないという上述された利点を潜在的に損なう。すなわち、ミラーの非平行な配置の並進は、キャビティ経路に影響を及ぼし得る。また、図 6 から図 8 および図 10 から図 12 に例示されるように、3 つ以上のミラーが存在してもよい。

#### 【0201】

そのような代替的な潜望鏡構成の選択肢は、図 16 に概略的に例示される。代替案（A）は、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を構成する平行な端部ミラーと 4 つの平行な潜望鏡ミラーとを有する。代替案（B）は、2 つの非平行な端部ミラーと共に、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を構成する 3 つの平行な潜望鏡ミラーを有する。代替案（C）は、2 つの非平行な端部ミラーと共に、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を構成する 2 つの非平行な潜望鏡ミラーを有する。代替案（D）は、2 つの非平行な端部ミラーと共に、回転可能な潜望鏡ユニット 30 を構成する 3 つの非平行な潜望鏡ミラーを有する。代替案（E）は、2 つの潜望鏡を有しており、ある意味で、図 12 の「ダブルパス」（または「マルチパス」）実施形態と同様である。なぜなら、ビームは、利得媒体 2（例えば、左下のミラー）に関連付けられた端部ミラーへ戻る前に、同じ方向の各パスにおいて異なる潜望鏡を介してではあるが、潜望鏡ユニット 30 を各方向に 2 回通過するからである。代替案（E）の 2 つの潜望鏡を用いれば、一方が光学経路を増加させ、一方が光学経路を減少させるので、これらが異なる  $t_p$  値（または入射角）を有するならば、純粋な逆余弦応答が存在する。しかしながら、戻り光学部（理想的には、再帰反射器）上のビームは、対称的な場合においてのみ完全に固定となる。平行な端部ミラー（および偶数個の潜望鏡ミラー）を有する代替案（A）のみが、構成 30 の並進に対してキャビティ経路が影響を受けないことを実証することに留意されたい。代替案（F）は、實際上、図 12 の「ダブルパス」（または「マルチパス」）実施形態のより直接的な変形例となるものを例示しており、上側の点線の輪郭内の 2 つのミラーが図 12 のミラー 22 に対応し、下側の点線の輪郭内の 2 つのミ

10

20

30

40

50

ラーが図 1 2 のミラー 2 4 に対応する。これは、2 つ以上のミラーまたは反射面が潜望鏡構成 3 0 の反射要素を構成するとみなされ得ることを例示する。

【 0 2 0 2 】

図 1 6 を参照しつつ説明された例の各々において、および上記に例示された実施形態において、周波数同調可能なレーザデバイスは、反射要素の第 1 の構成と反射要素の第 2 の構成とを備える。第 1 の構成の反射要素と第 2 の構成の反射要素とは共に、レーザデバイスのレーザキャビティを定義する。レーザキャビティは、レーザデバイスがレーザ発振することが可能な複数のキャビティモードを提供し、各キャビティモードは、異なるそれぞれのモード周波数を有する。第 2 の構成の反射要素は、レーザキャビティの有効光学経路長を調整して、キャビティモードの周波数を移動させるためのキャビティ同調構成を提供する。キャビティ同調構成の反射要素は、光学的に直列に配置される。レーザキャビティの有効光学経路長は、特定の自由度での回転などの、キャビティ同調構成の所定の動作によって、選択的に調整可能である。

【 0 2 0 3 】

また、「ダブルパス」(または「マルチパス」)例の場合、第 1 の構成の反射要素は、第 1 の構成要素の同じ反射要素へ戻る前に、キャビティ同調構成の直列の反射要素を各方向に 2 回通過する、レーザキャビティについての光学経路を定義するように配置される。例えば、図 1 2 を参照すると、光学経路は、第 1 の構成の同じ反射要素(すなわち、光学利得媒体 2 の後面 6 (図 1 参照))へ戻る前に、キャビティ同調構成 3 0 の反射要素 2 2 、 2 4 を第 1 の方向または第 1 の順序(2 2 、次いで、2 4 )で、次いで、反対の方向または反対の順序(2 4 、次いで、2 2 )で、次いで、再び第 1 の方向または第 1 の順序(2 2 、次いで、2 4 )で、次いで、再び反対の方向または反対の順序(2 4 、次いで、2 2 )で通過する。光学利得媒体 2 の後面 6 は、第 1 の構成の反射要素のうちの 1 つを形成することが分かる。

【 0 2 0 4 】

上述の通り、キャビティモードセクタは、選択されたキャビティモードに他のキャビティモードより優先してレーザ発振させるように促すように構成された周波数応答を有する。実際には、キャビティモードのうちのいずれがレーザ発振するかを最終的に決定するのは、デバイスの任意の他の要素の周波数応答と組み合わせられたキャビティモードセクタの周波数応答であることが認識されるべきである。例えば、キャビティモードセクタが、それ自体では必ずしも単一基本キャビティモードをもたらすとは限らないが、単一基本キャビティモードを提供するために、それに対処する周波数応答を有する固定された(回転しない、または動かない)光学構成要素と組み合わせられ得る周波数応答を有することがあり得る。キャビティモードセクタは、選択されたキャビティモードが他のキャビティモードより優先して(すなわち、必ずしも全部ではないが、少なくとも一部の他のキャビティモードより優先して)レーザ発振するように促すように動作すれば十分である。換言すれば、周波数プロファイルの選択特徴は、必ずしも単一のキャビティモードを生成するのには完全ではないが、他の構成要素(レーザ媒体の自然利得プロファイルを含む)に依拠して、より確かな基本モードの選択を精緻化し、または、より確かな基本モードを提供し得る。

【 0 2 0 5 】

実際に、キャビティモードセクタは、2 つ以上のそのような選択特徴を有してもよく、これらは、キャビティモードセクタの周波数応答において実質的に等しいプロミネンスであり得る。そのようなキャビティモードセクタの例は、エタロン 1 0 であり、そのようなキャビティモードセクタを用いる場合には、エタロンと組み合わせられて所望の応答を生成するフィルタを提供することが好適であることが、上記に解説されている。過去に考慮された構成において、フィルタは固定であったのに対して、本明細書では、改善された性能のために、フィルタがエタロンと共回転し得ることが提案される。

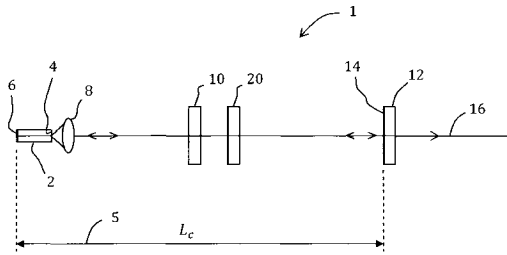
10

20

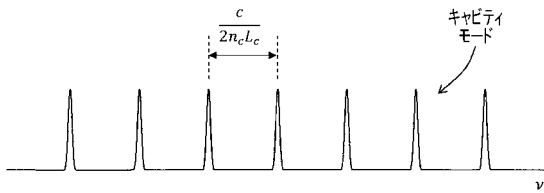
30

40

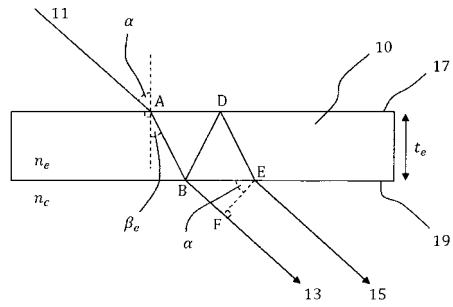
【図 1】



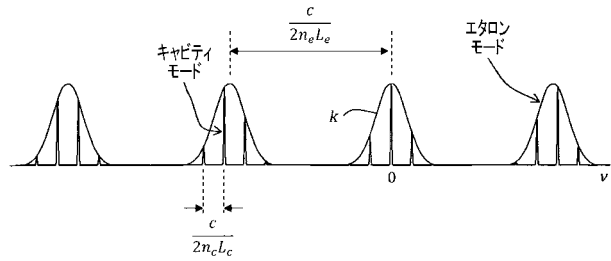
【図 2】



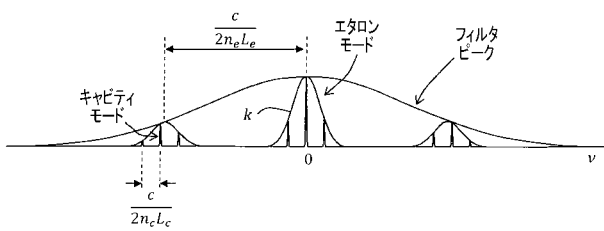
【図 3】



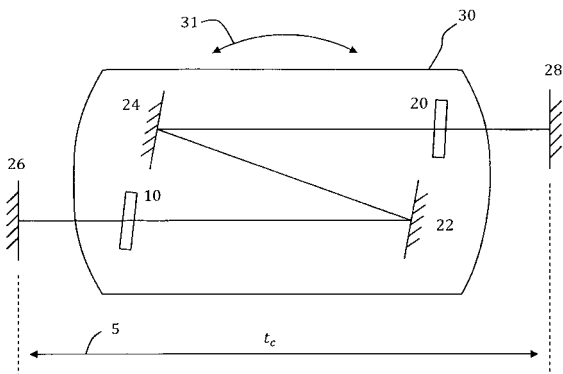
【図 4】



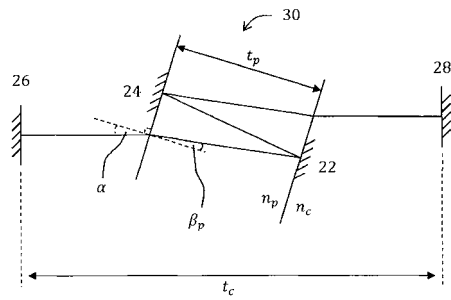
【図 5】



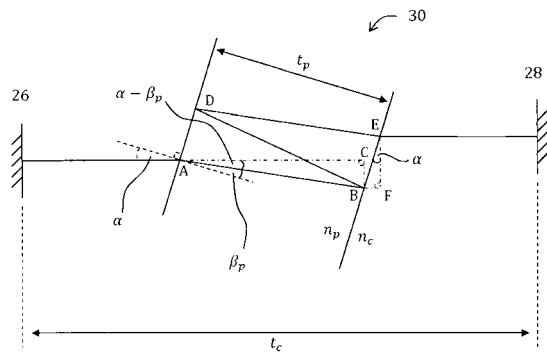
【図 6】



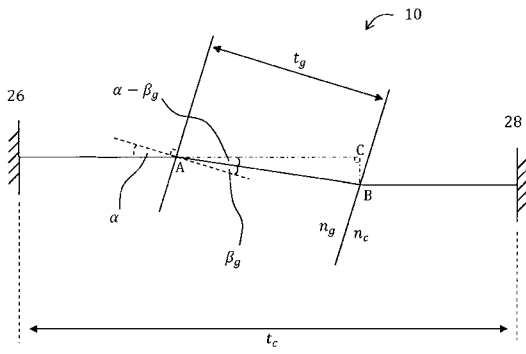
【図 7】



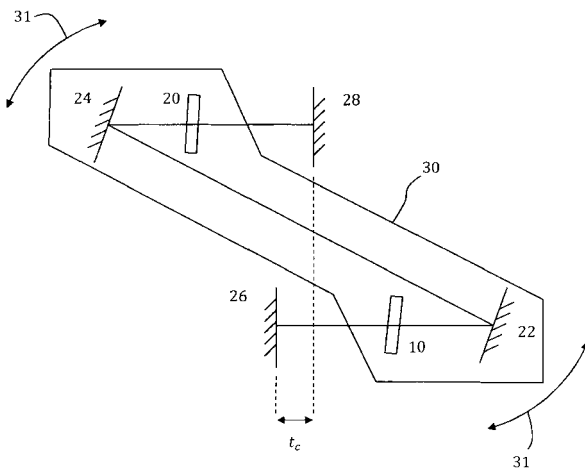
【図 8】



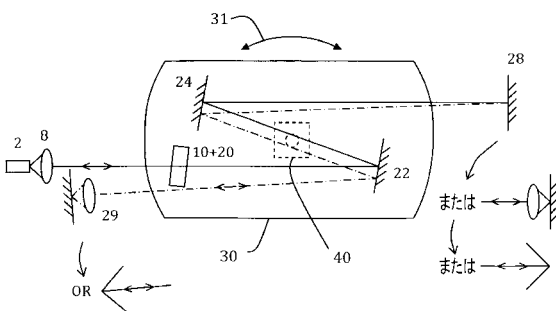
【図 9】



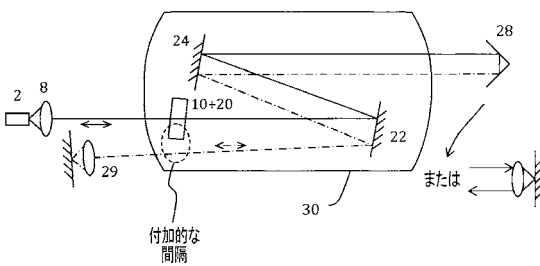
【図 10 A】



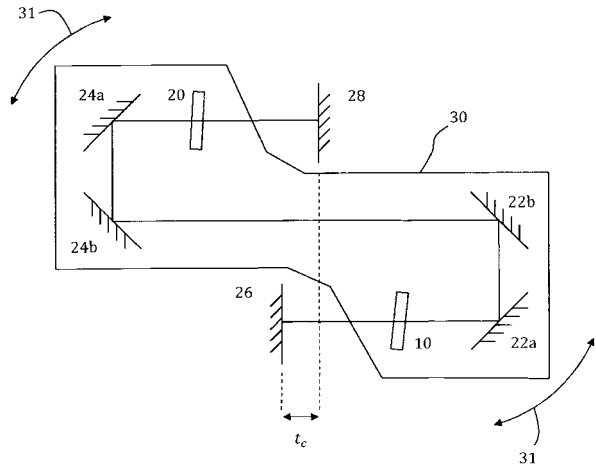
【図 12】



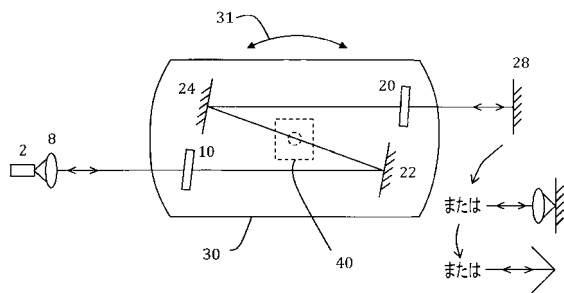
【図 13】



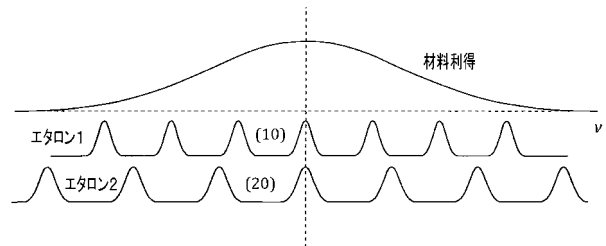
【図 10 B】



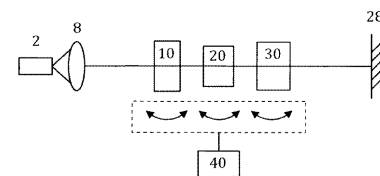
【図 11】



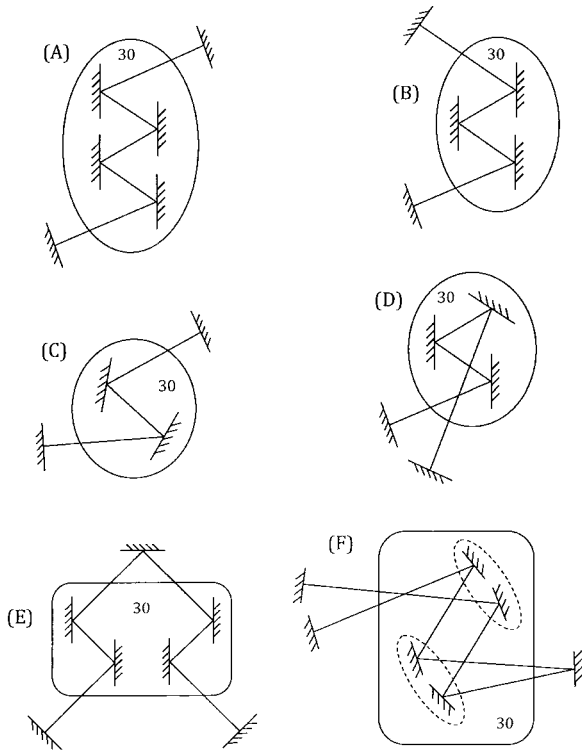
【図 14】



【図 15】



【図 16】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/GB2015/051581

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01S3/106  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 03/005503 A2 (NEW FOCUS INC [US]) 16 January 2003 (2003-01-16) page 10 - page 13; figures 4, 5 -----	1-21
X	WO 2010/070272 A1 (RENISHAW PLC [GB]; MCMURTRY DAVID ROBERTS [GB]; HOLLOWAY ALAN JAMES [G] 24 June 2010 (2010-06-24) cited in the application page 21 - page 22; figures 13,14 -----	1-21
X	US 2003/012250 A1 (SHIRASAKI MASATAKA [US]) 16 January 2003 (2003-01-16) page 4; figure 5 -----	1-21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier application or patent but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 October 2015

Date of mailing of the international search report

16/10/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Flierl, Patrik



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/GB2015/051581

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 03005503	A2	16-01-2003	AT 468638 T 15-06-2010
		AU 2002318215 A1 21-01-2003	
		CN 1541435 A 27-10-2004	
		EP 1405381 A2 07-04-2004	
		JP 4204972 B2 07-01-2009	
		JP 2004535069 A 18-11-2004	
		KR 20040013115 A 11-02-2004	
		US 2003021303 A1 30-01-2003	
		WO 03005503 A2 16-01-2003	
-----			
WO 2010070272	A1	24-06-2010	CN 102257686 A 23-11-2011
			CN 103762499 A 30-04-2014
			EP 2377212 A1 19-10-2011
			JP 2012513112 A 07-06-2012
			JP 2015164199 A 10-09-2015
			US 2011243160 A1 06-10-2011
			WO 2010070272 A1 24-06-2010
-----			
US 2003012250	A1	16-01-2003	NONE
-----			

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ナイジェル ジョセフ コブナー

イギリス シーエフ 3 7 1 ディーエル ポンティブリッド サウス ウェールズ エンジニアリング アンド サイエンス ファカルティ オブ コンピューティング ユニバーシティ オブ サウス ウェールズ

(72)発明者 アラン ジェームズ ホロウェイ

イギリス ジーエル 1 2 8 ジェイアール グロスターシャー ワットン - アンダー - エッジ ニュー ミルズ (番地なし) レニショウ パブリック リミテッド カンパニー内

(72)発明者 アナス ジャージュール

イギリス ジーエル 1 2 8 ジェイアール グロスターシャー ワットン - アンダー - エッジ ニュー ミルズ (番地なし) レニショウ パブリック リミテッド カンパニー内

(72)発明者 ジュンガン ホアン

イギリス シーエフ 3 7 1 ディーエル ポンティブリッド サウス ウェールズ エンジニアリング アンド サイエンス ファカルティ オブ コンピューティング ユニバーシティ オブ サウス ウェールズ

(72)発明者 レイモンド ジョン チャーネイ

イギリス ジーエル 1 3 9 エスエフ グロスターシャー パークレイ ニュー ブルックエンド ラバーナム カティッジ (番地なし)

F ターム (参考) 2H249 AA59 AA62 AA64

5F172 NR05 NR12

5F173 AB44 AR06 MF02 MF17 MF18 MF28